

Spatial distribution of precipitation over the initial growth of red cedar (*Cedrela odorata* L.)

Distribución espacial de la precipitación sobre el crecimiento inicial del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.)

Alonso-Báez, Moisés¹; Avendaño-Arrazate, Carlos H.^{1*}; Alonso-López Betsabé L.²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Carretera Tapachula-Cacahotán km 18, Tuxtla Chico, Chiapas. México. C. P. 30870.

²Instituto Tecnológico Cuenca del Papaloapan. San Juan Bautista, Tuxtepec, Oaxaca, México. C. P. 68446.

*Autor de correspondencia: avendano.carlos@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Objective: To analyze the effect of the spatial variability of precipitation on the initial growth of red cedar (*Cedrela odorata* L.) in Soconusco, Chiapas, Mexico.

Design/methodology/approach: The plantations were established in June 2010 in Suchiate, Tapachula and Tuxtla Chico, Chiapas; with a density of 1,111 trees ha⁻¹ planted and spaced 3.0 m×3.0 m. Every six months (2010-2014) tree height (h; m) and diameter at chest height (DBH; cm) were measured.

Results: The average annual height of the trees was correlated; with the accumulated annual precipitation (Pp; mm), and a simple linear regression equation ($R^2=0.94$) was determined, which predicts that the growth of the red cedar was 0.09 m for every 100 mm of precipitation observed in the different localities. Likewise, its initial growth was adjusted with a high level of confidence ($P\leq 0.001$) to the first phase of the Richards sigmoidal model and, from its first derivative, the annual growth rates were determined: 2.58 m year⁻¹, 2.05 year⁻¹ and 1.86 year⁻¹ m for the towns of Tapachula, Tuxtla Chico and Suchiate, respectively.

Study limitations/implications: The first phase of the Richards model is only applicable for the initial growth of red cedar and, beyond four years of age, it presents errors.

Conclusions: The first phase of Richards' sigmoidal model under the conditions studied, predicts with high confidence the initial growth of red cedar for the conditions of Soconusco, Chiapas.

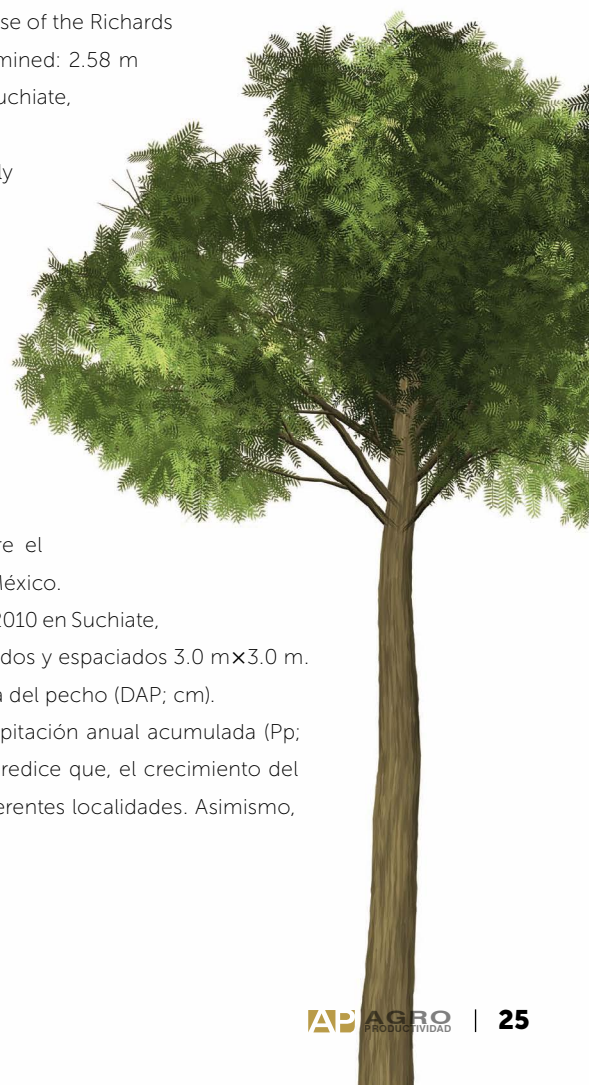
Keywords: Height, DAP, Soconusco, Chiapas.

RESUMEN

Objetivo: Analizar el efecto de la variabilidad espacial de la precipitación sobre el crecimiento inicial del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el Soconusco; Chiapas, México.

Diseño/metodología/aproximación: Las plantaciones se establecieron en junio de 2010 en Suchiate, Tapachula y Tuxtla Chico, Chiapas; con una densidad de 1,111 árboles ha⁻¹ sembrados y espaciados 3.0 m×3.0 m. Cada seis meses (2010-2014) se midieron altura del árbol (h; m) y diámetro a la altura del pecho (DAP; cm).

Resultados: Se correlacionó la altura promedio anual de los árboles; con la precipitación anual acumulada (Pp; mm), y se determinó una ecuación de regresión lineal simple ($R^2=0.94$), la cual predice que, el crecimiento del cedro rojo fue de 0.09 m por cada 100 mm de precipitación observada en las diferentes localidades. Asimismo,



su crecimiento inicial se ajustó con alto nivel de confianza ($P \leq 0.001$) a la primera fase del modelo sigmoidal de Richards y, a partir de su primera derivada, se determinaron las tasas de crecimiento anual: 2.58 m año⁻¹, 2.05 m año⁻¹ y 1.86 m año⁻¹ para las localidades de Tapachula, Tuxtla Chico y Suchiate, respectivamente.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La primera fase del modelo Richards, sólo es aplicable para el crecimiento inicial del cedro rojo y, más allá de cuatro años de edad presenta errores.

Hallazgos/conclusiones: La primera fase del modelo sigmoidal de Richards bajo las condiciones estudiadas, predice con alto nivel de confianza el crecimiento inicial del cedro rojo para las condiciones del Soconusco, Chiapas.

Palabras clave: altura, DAP, Soconusco, Chiapas.

INTRODUCCIÓN

Es un axioma que, el crecimiento y desarrollo de la vida sobre la tierra es función del agua. En la región tropical del planeta la diversidad de su flora está estrechamente relacionada con la magnitud y distribución espacial del régimen pluviométrico (Rozendaal y Zuidema, 2011). Esta aseveración indica que, las especies tropicales maderables como el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) crecen adecuadamente por el factor lluvia (Webb *et al.*, 1984). Las especies maderables tropicales, requieren de magnitudes variables de precipitación para producir calidad variable de su madera; sin embargo, indistintamente de sus hábitos con respecto al agua, la lluvia es fundamental para su establecimiento, crecimiento y producción de madera. Los requerimientos hídricos del cedro rojo oscilan entre 1200 mm a 4000 mm (Webb *et al.*, 1984; Piotto *et al.*, 2004; Pennington, 2006). Su siembra en condiciones de monocultivo se realiza cuando el periodo lluvioso se ha establecido y la humedad edáfica es apropiada para garantizar su establecimiento y reducir el estrés que experimenta la planta en el trasplante. En el marco de su estructura física, las especies forestales tropicales en su ontogenia han desarrollado plasticidad fisiológica, morfológica y fenológica ante la incertidumbre de disponibilidad de agua (Milthorpe y Moorby, 1982). De acuerdo con estos ajustes naturales, fenómenos como la fotosíntesis, uso

eficiente del agua, respiración nocturna, relación C:N foliar; todos ellos, varían indistintamente entre especies y sitios con diferentes regímenes pluviométricos (Mulkey y Wright, 1996; Craven *et al.*, 2007). En relación con el clima, la lluvia es la variable más importante para el crecimiento de los árboles en los trópicos donde existen periodos secos que oscilan entre tres y hasta seis meses aproximadamente (Condit, 1998; Santiago *et al.*, 2004; Santiago y Mulkey, 2005; Engelbrecht *et al.*, 2007, Austin y Vitousek, 1998; Coyle y Coleman, 2005). La distribución de las especies y su productividad en estas regiones del planeta está estrechamente relacionada con el patrón de la precipitación y disponibilidad de agua; lo cual indica por una parte que, este factor puede modificar la composición de las comunidades vegetales, y además la magnitud e intensidad de la precipitación afecta directamente la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas (Santiago *et al.*, 2004; Coyle y Coleman, 2005). En el mismo contexto, Díaz *et al.* (2007) afirma que la precipitación es el principal elemento del clima para la existencia y evolución de los ecosistemas tropicales y animales. Aun cuando resulta redundante señalar el papel de la lluvia en el entorno de la vegetación natural en el trópico, cuando se analiza la dinámica del clima sobre el crecimiento y desarrollo de los bosques húmedos tropicales, el factor que más impacta en su crecimiento es la precipitación (Rozendaal y Zuidema, 2011). En particular sobre el cedro rojo en este entorno, Webb *et al.* (1984) después de un estudio de crecimiento del cedro rojo, afirmaron que esta especie está estrechamente relacionada con alta demanda de luz, y su crecimiento, está en función de la magnitud de la precipitación, como por ejemplo, entre 1200 y 2500 mm, además de la altitud preferentemente entre 0 y 1500 m, lo cual llevo a sugerir un estudio en Costa Rica que las plantas de cedro rojo son altamente susceptibles a la sequía durante su establecimiento (Piotto *et al.*, 2004). Cuando el cedro se trasplanta, experimenta estrés porque se le restan condiciones óptimas y, porque su periodo de adaptación no es tan rápido (exploración de sus raíces). En este momento, el agua juega el papel más importante para la supervivencia del cedro, ya que el agua se mueve en grandes volúmenes desde el suelo hasta la atmósfera, y su mayor parte circula a través de las plantas en su camino del suelo hacia la atmósfera para completar su ciclo (Kramer, 1983; Milthorpe y Moorby, 1982). Las funciones especializadas en plantas o árboles, son función del suministro de agua, ya que ésta mantiene la presión de turgencia e induce la diferenciación de las células del Xilema, la biosíntesis de carbohidratos y el transporte de minerales

(Larson 1969; Langenfeld-Heyser 1987; Kozłowski et al. 1991; Kramer 1985; Dünisch y Bauch 1994). En relación con lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo analizar la variabilidad espacial de la precipitación sobre el crecimiento inicial del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el Soconusco, Chiapas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantaciones de cedro rojo están ubicadas en los Municipios de Suchiate (14° 41' N, 92° 09' O y altitud de 20 m); en Tapachula (14° 54' N, 92° 16' O, y altitud 170 m), y Tuxtla Chico (14° 56' N, 92° 10' O, y altitud 320 m), en la región del Soconusco, Chiapas, México. Éstas fueron establecidas en junio de 2010 y, las mediciones de altura del árbol (h; m) y diámetro a la altura del pecho (DAP; cm) se hicieron cada seis meses durante cuatro años. La densidad de plantación fue de 1,111 árboles ha⁻¹ espaciados 3.0 m × 3.0 m.

Variables dasométricas

Las mediciones de altura total (H; m) y diámetro a la altura del pecho (DAP; cm) se realizaron en cuatro rodales por hectárea (2%), cuyas dimensiones fueron de 6.91 m de diámetro y espaciados 71 m uno del otro. Cada rodal consistió de 15 árboles por cuatro rodales que sumaron una muestra de n=60 árboles por sitio experimental. La altura inicial del cedro a partir de su establecimiento en las diferentes plantaciones (tres) fue de 0.35 m y después, esta altura (h; m), se midió cada seis meses con un altímetro tipo "Haga" desde la base del árbol hasta el ápice terminal. El diámetro inicial a la altura del pecho (DAP; cm) no se consideró para este propósito y su medición se inició después de seis meses de edad mediante la cinta diamétrica graduada en unidades de pi (π). Para el análisis de crecimiento inicial del cedro, se utilizaron su altura promedio anual de los árboles (h; m) de los tres sitios de observación, así como el diámetro a la altura del pecho (DAP; cm). Sin embargo, el DAP contra la altura promedio (h) del árbol sólo fue para observar su tendencia.

Variables de clima y suelo

A fin de correlacionar la influencia de la precipitación con el crecimiento inicial del árbol de cedro, se acopiaron los registros la precipitación mensual y anual acumulada (Pp; mm) de las estaciones climatológicas próximas a los sitios de observación (Tapachula, Tuxtla Chico y Suchiate) y, para cada uno de los años que se evaluó su crecimiento inicial. En relación con el suelo, éstos se analizaron sólo para tener referencia de sus niveles de

fertilidad y textura, pero, no se correlacionó con las variables dasométricas. El análisis del efecto de la variabilidad espacial de la lluvia sobre el crecimiento del cedro en cada sitio experimental, se hizo a partir de las relaciones bivariadas de valores de precipitación anual acumulada (Pp; mm) contra valores promedio anuales de altura del árbol (h; m), $[h(m)=f(Pp; mm)]$; y se les ajustó una función de regresión lineal simple. Asimismo, el crecimiento inicial del cedro en función del tiempo en cada sitio $[h(m)=f(t; años)]$, se hizo con base en las relaciones bivariadas de valores promedio anual de altura del árbol (h; m) en función del tiempo (t, años). A partir de esta información se le ajustó la primera fase del modelo de crecimiento de Richards (Lieth et al., 1996). Después, a partir de la primera derivada de este modelo, se obtuvo la tasa de crecimiento anual del cedro rojo en cada sitio de observación. Los análisis estadísticos correspondientes se realizaron mediante los softwares NLREG V. 6.2 y CurveExpert V. 2.6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra los valores promedio y totales de la precipitación durante el periodo de observación de cada una de las localidades estudiadas.

Con base en esta información, se construyó una relación bivariada (Cuadro 2) de la altura promedio de cuatro años, con la precipitación promedio de cuatro años $[h(m)=f(Pp; mm)]$, misma que se sometió a un análisis de regresión lineal simple y generó la Ecuación 1.

$$\text{Altura (h; m)} = 2.4766 + 0.0003 \text{ Pp (mm)} \quad (1) \\ R^2 = 0.9950$$

Esta función establece que el crecimiento del cedro rojo guarda estrecha relación con la magnitud de la precipitación y, durante este periodo de observación (cuatro años) predice que el árbol de cedro rojo creció 0.03 m por cada 100 mm de precipitación.

En relación con el crecimiento de los árboles tropicales en general; el suministro de agua es fundamental para todos sus procesos fisiológicos, entre ellos, mantener la presión de turgencia que promueve la diferenciación de las células del Xilema, la biosíntesis de carbohidratos y el transporte de minerales, entre otros (Larson 1969; Langenfeld-Heyser 1987; Kozłowski et al. 1991; Kramer 1985; Dünisch y Bauch 1994). De acuerdo con este resultado, muchas investigaciones reafirman la importancia del régimen pluviométrico sobre el creci-

Cuadro 1. Precipitación mensual (Pp; mm), promedio (\bar{y} ; mm) y total anual en los sitios experimentales.

Meses	Tapachula				\bar{y}	Tuxtla Chico				\bar{y}	Suchiate				\bar{y}
	Años					Años					Años				
	2011	2012	2013	2014		2011	2012	2013	2014		2011	2012	2013	2014	
Ene	0	0	31	4	9	0	0	35	0	9	0	0	0	8	2
Feb	43	86	2	0	33	4	0	1	0	1	10	0	0	0	2
Mar	246	92	24	101	116	84	2	0	100	46	18	15	0	0	8
Abr	247	369	568	250	359	205	19	127	68	105	21	43	81	48	48
May	621	392	463	365	460	280	196	226	437	285	189	240	189	148	192
Jun	786	679	592	776	708	399	279	271	559	377	227	173	234	142	194
Jul	519	771	672	441	601	544	153	230	73	250	353	202	109	117	195
Ago	757	814	751	611	733	379	277	377	461	373	276	120	151	117	166
Sep	910	781	574	884	787	283	280	454	277	323	151	415	237	310	278
Oct	874	631	790	676	743	695	408	465	472	510	435	205	133	80	213
Nov	146	33	30	54	66	1	5	222	43	68	0	90	66	76	58
Dic	19	1	11	0	8	0	0	0	2	1	0	5	0	11	4
Totales	5168	4649	4508	4162		2874	1618	2407	2491		1681	1508	1200	1057	

Cuadro 2. Relación bivariada de la precipitación y crecimiento del cedro rojo, ambos promedios de cuatro años de observación (2010-2014).

Sitios de observación	Pp promedio (mm)	Altura promedio del cedro rojo (h; m)
Tapachula	4621.75	3.96
Tuxtla Chico	2347.5	3.18
Suchiate	1361.5	2.94

miento diferencial de las especies maderables preciosas en el trópico. Por ejemplo, Dié *et al.* (2012) derivado de una investigación para estudiar indirectamente la importancia de la lluvia a través de la formación de anillos en árboles de Teca (*Tectona grandis* L.), confirmaron, la afinidad de la disponibilidad de agua con la dinámica de su crecimiento en Gagnoa y Séquié, India (Dié *et al.*, 2015). Otros autores como Costa *et al.* (2013) confirmaron lo mismo con el crecimiento de *C. odorata* en la misma región. Ambas investigaciones señalaron la estrecha relación de la magnitud variable de la precipitación con la variabilidad del crecimiento de los anillos en estas y otras especies maderables del trópico. En el mismo ámbito, el crecimiento del árbol de Teca en Séquiré, India; reveló correlación significativa con la precipitación mensual, lo anterior, porque las raíces superficiales propias del árbol de Teca son las que tienen el mayor acceso al agua producto de la precipitación (Enquist y Leffler, 2001; Nidavani y Mahalakshhmi, 2014). Estudios similares, Wagner *et al.* (2012 y 2014) concluyeron que, a la precipitación, se

le puede consignar como el principal inductor del crecimiento de los árboles en las regiones tropicales, sin restar importancia a la influencia directa de otros factores como el suelo. Otras investigaciones similares a través de modelos en especies como la Teca *Swietenia macrophylla* King y *C. alliodora*, se realizó mediante correlación de algunas variables de clima con su crecimiento para una mayor interpretación de este impacto; entre ellas, se analizó la correlación del crecimiento residual del *Cordia alliodora* con las variables temperatura, precipitación e índice de oscilación del sur (SOI), y se determinó que la más alta correlación fue con la precipitación ($P < 0.001$), seguida por la temperatura ($P < 0.002$) y después por el fenómeno SOI ($p < 0.02$) (Pereyra *et al.*, 2013).

En el mismo ámbito, la influencia de la lluvia sobre el crecimiento del cedro, se basó en un estudio cronológico para medir el ancho de los anillos a través del crecimiento radial correlacionado con las fluctuaciones climáticas, y el impacto superior se debió a la magnitud y distribución de la lluvia (Pereyra *et al.*, 2013). Muchas investigaciones en este contexto, precisan de este factor del clima sobre el crecimiento del pino (*Pinus nigra*) en el Este de Alemania, ya que dicho factor, explicó una porción superior a 50% de la variabilidad de su crecimiento. Asimismo, el pino rojo de Norteamérica, observó alta correlación positiva de su crecimiento con la precipitación de verano (Ashiq y Anand, 2014). En otro ámbito, se realizó un estudio para observar los anillos de crecimiento

por un periodo de 70 años (1944-2013) en la especie *C. alliodora*, confirmándose que su crecimiento radial representado por la función matemática de Gompertz, estuvo influenciado positivamente por el monto de la precipitación anual y negativamente por la temperatura media anual (Briceño et al., 2016).

Con relación a los suelos donde crece el cedro rojo en los sitios objeto de este estudio. Tuxtla Chico y Suchiate mostraron características físicas y químicas similares, y mayor variabilidad respecto al sitio de Tapachula. Asimismo, en los sitios de Tapachula y Tuxtla Chico, sus suelos de acuerdo con su textura son de tipo franco arenoso y en Suchiate el suelo es franco arcillo arenoso. Por sus características, el sitio de Tapachula mantuvo un suelo con contenidos de materia orgánica (MO), nitrógeno y una proporción de agregados estables superior a los otros sitios.

Modelo del crecimiento inicial del cedro como función del tiempo

El crecimiento inicial del cedro rojo durante sus primeros cuatro años de edad, adquirió con alto nivel de confianza, aceptable ajuste de la ecuación correspondiente (Ecuación 2) a la primera fase del modelo de crecimiento sigmoideal de Richards (Lieth et al., 1996). Este modelo establece que el crecimiento del cedro rojo en sus primeros cuatro años de edad es de tipo exponencial, mis-

mo comportamiento que experimentan todos los seres vivos durante su crecimiento inicial.

$$h(m) = \beta_0 - 1 + \exp(\beta_1 * t) \quad (2)$$

Con base en este resultado, en el Cuadro 3 se presentan los valores observados y ajustados de altura promedio anual del cedro rojo durante su crecimiento inicial (cuatro años). En este Cuadro se observa que ambos valores de altura del árbol no presentan alta diferencia entre las series bivariadas de altura en función del tiempo, lo cual significa que el modelo propuesto estima las alturas (h ;m) con alto nivel de confianza y puede utilizarse para predecir el crecimiento inicial del cedro en otros escenarios donde predominen situaciones similares; sin embargo, cabe la posibilidad de que si éste se extiende más allá del tiempo estudiado (cuatro años) presente errores. Entonces, para un periodo mayor, debe validarse a fin de observar cuando esta función deja de ser exponencial e inicia su fase de crecimiento constante. Los valores ajustados, soportados mediante el análisis de varianza de cada una de las ecuaciones referenciadas a los sitios experimentales, revelaron diferencia altamente significativa, así como para cada uno de los coeficientes de las Ecuaciones presentes en el Cuadro 4.

No obstante, la interpretación matemática de la función propuesta, ésta mantuvo excelente aproximación

Cuadro 3. Valores observados de la altura promedio anual (h , m) y valores ajustados en arboles de *Cedrela odorata* como función de crecimiento inicial en función del tiempo (t ; años).

Tiempo (años)	Tapachula Observados $h(m)$	Tapachula Ajustados $h(m)$	Tuxtla Chico Observados $h(m)$	Tuxtla Chico Ajustados $h(m)$	Suchiate Observados $h(m)$	Suchiate Ajustados $h(m)$
0.4	0.35	0.5975	0.35	0.3882	0.35	0.3891
1	1.2	1.1473	1.02	0.8760	0.82	0.8496
2	2.87	2.6414	2.03	2.1493	2.11	2.0293
3	5.34	5.3615	4.34	4.3573	4.01	4.0298
4	10.28	10.3138	8.2	8.1865	7.41	7.4219

Cuadro 4. Ecuaciones de ajuste para estimar los valores de altura de *Cedrela odorata* durante su crecimiento inicial (2010-2014) en tres sitios del Soconusco, Chiapas, México.

Sitio	Ecuación	Parámetros del modelo		P 0.05
		β_0	β_1	
Tapachula	$h(m) = \beta_0 - 1 + \exp(\beta_1 * t)$	0.326683	0.598981	**
Tuxtla Chico	$h(m) = \beta_0 - 1 + \exp(\beta_1 * t)$	0.141820	0.550545	**
Suchiate	$h(m) = \beta_0 - 1 + \exp(\beta_1 * t)$	0.153916	0.528098	**

con el comportamiento biológico del crecimiento inicial del cedro rojo en función del tiempo. Lo anterior confirmó la naturaleza intrínseca del crecimiento sigmoideal para todos los organismos, los cuales experimentan inicialmente un crecimiento exponencial seguido de un crecimiento constante, y por último, un crecimiento desacelerado asintótico para concluir con su ciclo biológico (Lieth *et al.*, 1996).

Tasas de crecimiento promedio anual

El Cuadro 5 presenta las tasas de crecimiento promedio inicial anual del cedro rojo como función del tiempo y de la magnitud variable de la precipitación en cada uno de los sitios de observación. Su crecimiento inicial fue descrito mediante la Ecuación 1, donde a partir de su primera derivada fue posible estimar las tasas de su crecimiento inicial $[dh/dt=\beta_1*\exp(\beta_1*t)]$. Estos valores mostraron un cambio acelerado de crecimiento inicial de acuerdo con su naturaleza inducida por las magnitudes variables de la precipitación sobre este fenómeno, el cual fue descrito por una función tipo exponencial como corresponde al crecimiento inicial de todos los organismos en la naturaleza. Los resultados de las tasas de crecimiento variable del cedro rojo en la región de estudio, obedecieron a las cantidades de precipitación captadas en cada sitio observado. Las tasas de crecimiento fueron 2.58 m año⁻¹, 2.05 m año⁻¹ y 1.86 m año⁻¹ durante este periodo inicial de su crecimiento en los sitios de Tapachula, Tuxtla Chico y Suchiate respectivamente. Estos valores coinciden con resultados de investigaciones realizadas con este propósito, donde se afirma que el cedro rojo en condiciones óptimas de humedad, es una especie de crecimiento rápido en términos de altura, el cual puede alcanzar tasas de crecimiento que oscilan entre 2.3 m a 3.0 m por año (Lamb, 1968; Pennington, 2006).

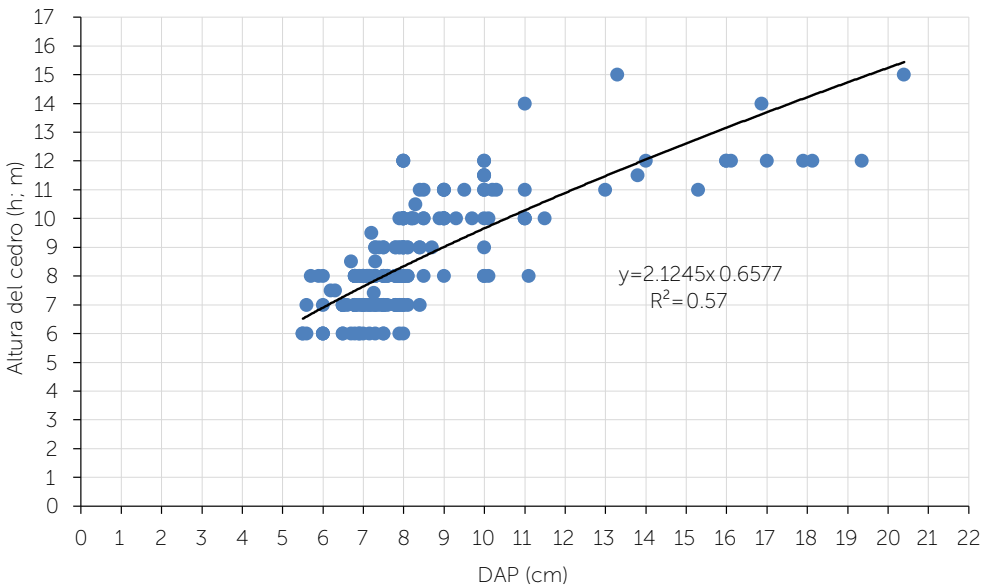


Figura 1. Relación DAP vs h del árbol de *Cedrela odorata* L. al cuarto año de edad en el Soconusco, Chiapas, México.

Relación DAP (cm) vs h (m) del árbol de cedro a los cuatro años de edad

Con relación a los valores del diámetro a la altura del pecho (DAP; cm) del cedro rojo a los cuatro años de edad, no se realizó un análisis detallado con respecto a su crecimiento inicial y, sólo se construyó una gráfica de DAP vs h (Figura 1). Lo anterior, a fin de observar su comportamiento al cuarto año de crecimiento inicial, obteniendo una ecuación de crecimiento potencial de ajuste del modelo, cuya función describe aproximadamente la tendencia observada de este fenómeno, cuándo la relación de variables en la práctica, los árboles alcanzan su estado de corte y aprovechamiento. El coeficiente de determinación fue bajo ($R^2=0.57$), debido a la alta variabilidad del crecimiento de los árboles a esta edad, pero, para propósitos de esta investigación fue aceptable. Estudios sobre dendrocronología en las regiones tropicales y subtropicales han demostrado de manera indirecta, la influencia de la precipitación en las diferentes etapas del crecimiento radial en árboles de cedro. Lo anterior

Cuadro 5. Tasas de crecimiento inicial ($\Delta h/\Delta t$; m/año) del cedro rojo en función del tiempo e influenciadas por las magnitudes variables de precipitación en cada sitio de observación.						
t (años)	Tapachula		Tuxtla Chico		Suchiate	
	h (m)	($\Delta h/\Delta t$; m/año) [≠]	h (m)	($\Delta h/\Delta t$; m/año)	h(m)	($\Delta h/\Delta t$; m/año)
0.4	0.5975	0.1621	0.3882	0.1357	0.3891	0.1242
1	1.1473	0.3292	0.8760	0.2686	0.8496	0.2432
2	2.6414	0.8943	2.1493	0.7010	2.0293	0.6230
3	5.3615	1.6279	4.3573	1.2156	4.0298	1.0564
4	10.3138	2.9633	8.1865	2.1082	7.4219	1.7914

[≠] tasa de crecimiento en metros por año.

fue a través de un análisis para determinar el potencial del cedro en estudios dendrocronológicos, mismos que abarcaron un periodo de 215 años y, se detectó la estrecha relación que guardan los anillos de estos árboles con los registros de la precipitación durante este periodo (Pereyra et al., 2014). En relación con este mismo tipo de estudios, Brien et al. (2009) encontraron que el crecimiento de los árboles de cedro obedeció más al incremento periódico de la disponibilidad de luz en los bosques húmedos, pero, en el largo plazo, la magnitud variable de la distribución de la lluvia fue el factor principal para estimular el crecimiento de estos árboles en los bosques secos.

CONCLUSIONES

Existe un impacto de la magnitud espacial de la precipitación sobre el crecimiento variable inicial del cedro rojo en la zona de estudio. Se determinó como aceptable el ajuste de la primera fase del modelo sigmoidal de Richards que, predice con alto nivel de confianza el crecimiento inicial del cedro rojo para las condiciones del Soconusco, Chiapas, México.

LITERATURA CITADA

- Ashiq MW, Anand M. 2016. Spatial and temporal variability in dendroclimatic growth response of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) to climate in northern Ontario, Canada. *Forest Ecology and Management* 372: 109-119
- Austin, A.T., Vitousek, P.M., 1998. Nutrient dynamics on a precipitation gradient in Hawaii. *Oecologia* 113, 519-529.
- Brien RJW, Lebrija-Trejos E, van Breugel M, Pérez-García EA, Bongers F, Meave JA, Martínez-Ramos MM. 2009. The potential of tree rings for the study of forest succession in southern Mexico. *Biotropica*, 41, 186-195.
- Brien, R. J. W., Zuidema, P. A., Martínez, R. M. 2010. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. *Oecologia* 163: 485-496
- Condit, R., 1998. Ecological implications of changes in drought patterns: shifts in forest composition in Panama. *Climatic Change* 39, 413-427.
- Costa M S, De Vasconcellos T J, Barros C F & Callado C H. 2013. Does growth rhythm of a widespread species change in distinct growth sites? *IAWA J.* 34: 498-509.
- Coyle, D.R., Coleman, M.D., 2005. Forest production responses to irrigation and fertilization are not explained by shifts in allocation. *Forest Ecology and Management* 208, 137-152.
- Craven, D., Braden, D., Ashton, M.S., Berlyn, G.P., Wishnie, M.H., Dent, D.H. 2007. Between and within-site comparisons of structural and physiological characteristics and foliar nutrient content of 14 tree species at a wet, fertile site and a dry, infertile site in Panama. *Forest Ecology and Management* 238, 335- 346.
- Díaz, J.D.G.; Rivas, A.I.M.; Rueda, J.Á.T. 2007. Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques* (2): 29-49.
- Dié A, Kitin P, Kouamé FN, Van den Bulcke J, Van Acker J & Beeckman H. 2012. Fluctuations of cambial activity in relation to precipitation result in annual rings and intra-annual growth zones of xylem and phloem in teak (*Tectona grandis*) in Ivory Coast. *Ann. Bot.* 110: 861-873.
- Dié A., De Ridder M., Cherubini P., Kouamé F. N., Verhenyden A., Kitin P., Toirambe B. B. Van den Bulcke J, Van Acker J. Beeckman H. 2015. Tree rings show a different climatic response in a managed and a non-managed plantation of teak (*Tectona grandis*) in West Africa. *IAWA.* 36 (4): 409-427.
- Dünisch, O. & J. Bauch. 1994. Influence of soil substrate and drought on wood formation of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) under controlled conditions. *Holzforschung* 48: 447-457.
- Elemer Briceño-Elizondo, Dagoberto Arias-Aguilar, Mario Guevara-Bonilla, Edwin Esquivel-Segura, Marcela Arguedas-Gamboa, Rodolfo Canessa-Mora. 2016. Effects of High Intensity Tillage Applications to Improve Productivity on Established Teak (*Tectona grandis*) Plantations in Specific Site Conditions in Northern Costa Rica. *Journal of Agriculture and Life Sciences* ISSN 2375-4214 (Print), 2375-4222 (Online) Vol. 3, No. 2
- Engelbrecht, B. M. J., L. S. Comita, R. Condit, T. A. Kursar, M. T. Tyree, B. L. Turner, and S. P. Hubbell. 2007. Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. *Nature* 447: 80- 83.
- Enquist, B.J., Leffler, A. J. 2001. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dryforest trees: individualistic responses to climatic variation. *J. Trop. Ecol.* 17: 41-60.
- Kozlowski, T.I., P. J. Kramer., S.G. Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, San Diego, New York. 657 pp.
- Kramer, P. J. 1985. Water relations of plants. Academic Press, Orlando. 489 pp.
- Lamb, A.F.A. 1968. Fast growing timber trees of the lowland tropics. No. 2 *Cedrela odorata*. Commonwealth Forestry Institute, Dept. of Forestry, University of Oxford. pp. 46.
- Langenfeld-Heyser, R. 1987. Distribution of leaf assimilates in the stem of *Picea abies* L. *Trees* 1: 102-109.
- Larson, P.R. 1969. Wood formation and the concept of wood quality. Yale University, New Haven. Bull. 74.
- Lieth, J.H.; Fisher, P.; Heins, R. 1995. A Three-phase Model for the Analysis of Sigmoid Patterns of Growth. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science.* 30. 10.17660/ActaHortic.1996.417.13.
- Milthorpe, F. L. y Moorby, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 202 p
- Mulkey, S.S., Wright, S.J. 1996. Influence of seasonal drought on the carbon balance of tropical forest plants. In: Mulkey, S.S., Chazdon, R.L., Smith, A.P. (Eds.), *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman & Hall, New York, pp. 187-216.
- Nidavani RB & Mahalakshmi AM. 2014. Teak (*Tectona grandis* Linn.): A renowned timber plant with potential medicinal values. *Int. J. Pharm. & Pharm. Sci.* 6: 48-54.
- Pennington, T.D. 2006. Comments on draft proposal to include *Cedrela odorata* in Appendix II, provided as Annex to email from Noel Mc Gough (UK CITES Scientific Authority) to Harriet Gillett (UNEP-WCMC).

- Pereyra E M J; Inga G G. J; Santos M M; Rogríguez A R. 2013. Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Trees* 17: 244-250.
- Pereyra E. M. J., Inga G. G. J., Santos M. M., R. A. R. 2014. Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 62 (2): 783-793.
- Piotto, D., Viquez, E., Montagnini, F. & Kanninen, M. 2004. Pure and mixed forest plantations with native species of the dry tropics of Costa Rica: a comparison of growth and productivity. *Forest Ecology and Management*, 190: 359-372.
- Rozendaal, D., Brien R., Solis G. C. y Zuidema, P. 2010. Tropical tree rings reveal preferential survival of fast-growing juveniles and increased juvenile growth rates over time. *New Phytologist* 185: 759-769.
- Rozendaal, D.M.; Zuidema, P.A. 2011. Dendroecology in the tropics: a review. *Trees* (1): 3-16.
- Santiago, L.S., Kitajima, K., Wright, S.J., Mulkey, S.S. 2004. Coordinated changes in photosynthesis, water relations and leaf nutritional traits of canopy trees along a precipitation gradient in lowland tropical forest. *Oecologia* 139, 495-502.
- Santiago, L.S., Mulkey, S.S. 2005. Leaf productivity along a precipitation gradient in lowland Panama: patterns from leaf to ecosystem. *Trees* 19, 349-356.
- Wagner C, Schram L, McMullin R, Hunt S, Anand M. 2014. Lichen communities in two old-growth pine (*Pinus*) forests. *The Lichenologist* 46(5): 697-709
- Wagner F, Rossi V, Aubry-Kientz M. 2014. Pan-tropical analysis of climate effects on seasonal tree growth. *PLOS ONE* 9:e92337.
- Wagner F, Rossi V, Stahl C. 2012. Water availability is the main climate driver of neotropical tree growth. *PLOS ONE* 7:e34074.
- Webb, L. J., Tracey, G., and Williams, W. T. 1984. An ecological framework of Australian rainforest. 11. Floristic classification. *Australian Journal of Ecology* 9, 169-98.

